Effets d'apports de bois rameaux fragmentés (BRF) et d'un compost combinés à des rotations avec engrais verts sur les rendements en pomme de terre et l'incidence de la gale

B. Otrysko[1] et F. Pagé[2]

Résumé, B. Otrysko[1] et F. Pagé[2], 2001. **Effets d'apports de bois rameaux fragmentés (BRF) et d'un compost combinés à des rotations avec engrais verts sur les rendements en pomme de terre et l'incidence de la gale. *Agrosol.* 12 (2) : 108-117.** Les effets à moyen terme (5 ans) des apports aux deux ans de BRF (bois raméaux fragmentés) et d'un compost (fumier et tourbe) ont été évalués sur les rendements, la qualité et le contrôle de la gale chez la pomme de terre. Les traitements ont consisté en une monoculture de pommes de terre, de systèmes en rotation de 2 ans (pommes de terre et seigle enfoui comme engrais vert ou paille, avec ou sans apport de 25 T ha^{-1} de BRF ou de 12 T ha^{-1} de compost) et d'un système en rotation de 3 ans (pommes de terre, sarrasin et seigle, ces deux derniers étant enfouis comme engrais vert). La culture de pommes de terre a été réalisée en 1995, 1997 et 1999. Les engrais verts ont été enfouis en juillet et les BRF ou paille aux mois de septembre précédant la culture de pommes de terre. Le compost a été appliqué au printemps juste avant la plantation des pommes de terre. Une fertilisation complète a été appliquée dans toutes les parcelles. Les différences significatives ($p < 0,05$) les plus importantes ont été observées entre le témoin (monoculture) et les traitements de culture en rotation couplés à des apports de compost ou de BRF. Les plus faibles rendements ont été obtenus avec la monoculture de la pomme de terre et les plus élevés avec le compost (11 à 29 % supérieurs) et les BRF (8 à 14 % supérieurs). Une augmentation significative de la densité relative et de la quantité de matière sèche du tubercule a été obtenue avec les BRF. L'incidence de la gale a été la plus élevée sous la monoculture, et la plus faible sous la rotation de culture avec BRF. L'application de compost a permis d'augmenter significativement à la première année seulement par rapport aux autres traitements les teneurs en MO et N totaux, et en P, Ca et Mg échangeables du sol. Comparé aux autres traitements, le pH du sol a augmenté significativement avec ajout des BRF et du compost. On note également dans les sols des teneurs de plus en plus élevées de 1995 à 1999 en matière organique et en bases échangeables du sol avec les apports de BRF. Les BRF ont toutefois occasionné une diminution de la teneur en $N\text{-}NO_3$ du sol et en N chez le tubercule sans affecter apparemment le rendement. Dans un système de culture en rotation, les BRF incorporés au sol l'année précédant une culture en pommes de terre, ou le compost incorporé juste avant la culture, seraient des pratiques agricoles bénéfiques et pourraient permettre des rotations courtes tout en réduisant les applications des fertilisants minéraux et de chaulage. Les BRF sont d'autant plus intéressants qu'ils permettraient de réduire de façon importante l'incidence de la gale.

Mots clés : bois raméaux fragmentés, BRF, compost, rotation de culture, pomme de terre, *Streptomyces scabies*.

Abstract, B. Otrysko[1] and F. Pagé[2], 2001. **The effect of ramial chipped wood (RCW) or a compost combined with crop rotations and green manure crops on potato yields and scab incidence. *Agrosol.* 12 (2) : 108-117.** The objective of this research was to examine the effects of the addition of ramial chipped wood (RCW) or a compost in a two and three year rotation sequence on the yield and quality of potatoes as well as on the incidence of scab. The treatments were: potato monoculture, a two year rotation with rye turned under as a green manure crop or as mature straw with or without the addition of 25 T/ha RCW or 12 T/ha compost; and a three year rotation of potato-buckwheat-rye, the latter two turned under as green manures. Potatoes were cultivated in 1995, 1997 and 1999. The rotation crops were incorporated as green manures in July or as straw in September. The RCW was applied in September preceding potatoes in the rotation. The compost was applied just before planting the potato crop in the spring. In all of the treatments, a complete fertilizer was applied to the potato crop in the furrow at planting. The greatest significant differences ($p<0.05$) were observed between the control (potato monoculture) and the 2 year rotation amended with either the RCW or the compost. The lowest yields were

1. Centre de Recherches Les Buissons, 358 Principale, Pointe-aux-Outardes(Québec), G0H 1H0, CANADA
2. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), 2700, rue Einstein, (Québec), G1P 3W8, CANADA

obtained with the potato monoculture and the highest with the compost (an increase of 11 to 29%); the RCW treatment resulted in an 8 to 14% increase in yields. The RCW treatment also resulted in a significant increase in specific gravity and in percent tuber dry matter. Scab incidence was greatest under the potato monoculture and least with the RCW amendment. The compost treatment significantly increased organic matter content and N in the first year of application as well as P, and the exchangeable cations Ca and Mg. Compared with the other treatments, soil pH rose significantly with the RCW and compost amendments. Moreover, the RCW treatment increased soil organic matter levels and the exchangeable cations over the period 1995 to 1999. However, amending the soil with RCW diminished soil N-NO_3 levels and tuber N levels without affecting yields. In a short rotation, amendments of RCW or compost incorporated in the fall or in the spring (compost) before the potato crop, appear to be beneficial almost immediately and may reduce fertilizer as well as limestone applications. The addition of RCW is particularly interesting for its impact on the reduction of scab, an important endemic disease.

Key words : ramial chipped wood, RCW, compost, rotation crops, potato, *Streptomyces scabies*.

Introduction

La qualité des sols intensivement cultivés en pommes de terre est améliorée par des rotations de culture et des apports d'amendements organiques tels fumier, engrais verts ou compost (Beauchemin et al., 1990; Beauchemin et al., 1992a; Campbell et al., 1996; Edwards et al. 2000; Gent et al. 1999; Janzen et al. 1992; Sieczka et Thornton, 1993; Smith, 1977;). Les rotations de culture visent à diminuer les mauvaises herbes, à diversifier la microflore du sol, à réduire les risques de maladie chez les plantes, à améliorer la structure du sol et enfin à augmenter la quantité et la qualité de la matière organique du sol. En couplant la rotation de culture avec des amendements organiques, ces effets positifs sont renforcés. En effet, les amendements organiques sont parmi les plus importants intrants permettant de maintenir la fertilité du sol. La matière organique en se décomposant favorise la prolifération des microorganismes du sol lesquels jouent un rôle important dans la formation et la stabilisation de la structure du sol et la disponibilité des éléments nutritifs des plantes (Beauchemin et al. 1990; Janzen et al. 1992; N'Dayegamiye et Angers 1993; Tremblay et Beauchamp, 1998).

Avant l'arrivée des engrais minéraux et des pesticides, les rotations de culture et les amendements organiques, incluant les composts et les engrais verts, étaient largement utilisés depuis des siècles, non seulement comme fertilisant, mais également pour contrôler les maladies des plantes (Hadar et al., 1992; Zhang et Drummond, 1998). Leur incidence sur les maladies est cependant variable (Lazarovits et al., 1999), de sorte qu'il est difficile d'établir des relations nettes entre les causes et les effets liés à leurs applications. Ils créent en effet des changements subtils et complexes des propriétés biologiques, physiques et chimiques du sol, modifiant ainsi l'environnement des pathogènes, ce qui a pour effet de réduire de façon plus ou moins importante la sévérité de la maladie chez la plante. Par exemple, il a été démontré que les amendements organiques pouvaient jouer un rôle important sur le développement de la microflore antagoniste de micro-organismes phytopathogènes (Curl and Rodriguez-Kabana 1974), notamment de *Streptomyces scabies* et de *Rhizoctonia solani* . Une diminution significative de ces maladies chez la pomme de terre a ainsi été observée suite à l'application d'amendements organiques (Dommergues et Mangenot 1970; Garrett 1965).

La gale (Hooker, 1981) est une importante maladie de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) qui cause de graves problèmes, car ce pathogène peut survivre longtemps dans le sol. Cette maladie est répandue, voire même endémique, partout où la pomme de terre est produite. La gale de la pomme de terre est causée par plusieurs espèces de *Streptomyces*. (Goyer et al., 1996; Loria et al., 1997). *Streptomyces scabies* (Thaxter) Lambert et Loria sont les agents prédominants mis en cause. Les lésions apparaissent sous la forme d'une pellicule brunâtre à la surface de la pomme de terre et peuvent être superficielles, importantes ou très importantes selon les conditions environnementales du milieu (Goyer et al., 1996).

Une relation étroite entre le type de matière organique apportée au sol et les organismes du sol a clairement été définie (Neher 1999; Perry et al. 1989). La source de carbone, les teneurs en nutriments, la présence de métabolites secondaires et l'arrangement physique de la matière organique influencent le développement des communautés microbiennes du sol (Heal et Dighton 1985; Swift et al. 1979).

Récemment, plusieurs chercheurs ont montré que les bois raméaux fragmentés (BRF), riches en lignine et caractérisés par un rapport C/N élevé, contribuaient significativement à améliorer la fertilité du sol et à augmenter la production (Beauchemin et al. 1992b; Gasser et al. 1995; Lalande et al. 1998; N'Dayegamiye et Angers,1993; N'Dayegamiye et Dubé, 1986; Tremblay et Beauchamp, 1998). D'après N'Dayegamiye et Angers (1993), l'apport des BRF comme amendement a amélioré la qualité de la matière organique du sol. En effet, ces chercheurs ont observé à long terme une accumulation importante de matières humiques stables à la suite de la décomposition de matières ligno-cellulolitiques des BRF. Ces matières humiques joueraient un rôle important sur la stabilité des microagrégats du sol. Soulignons enfin que les BRF contribuent à améliorer le régime d'humidité du sol (Beauchemin et al. 1990), ce qui a un effet positif sur le rendement en pommes de terre,

particulièrement au cours d'une saison de croissance sèche.

Les BRF sont formés de rameaux de moins de 7 cm de diamètre. Ils contiennent en abondance de la lignine non polymérisée qui va contribuer à la formation d'agrégats stables et d'un humus de qualité (Larochelle et al. 1993). Les BRF contiennent tous les éléments nutritifs essentiels à la croissance de la plante.

L'augmentation du rendement en pommes de terre avec des apports de BRF serait associée à l'augmentation de la teneur en matière organique et à la capacité de rétention en eau du sol, ainsi qu'au développement d'une communauté de la mésofaune et des microorganismes saprophytes. Cette communauté aurait la particularité d'éliminer des micro-organismes pathogènes, notamment par compétition vis-à-vis de l'azote minéral, carbone ou oxygène, ou par synthèse d'antibiotiques (Dommergues et Mangenot 1970; Garrett 1965; Lalande et al. 1998; Tremblay et Beauchamp, 1998). Par ailleurs, Curl et al., (1983) de même que Lartey et al., (1989 et 1994) ont indiqué que l'infestation du coton par R. solani diminuait de façon importante en présence de populations de collemboles. Or, plusieurs auteurs ont démontré que l'addition de matières organiques riches en lignine contribuait à augmenter la mésofaune tels que les collemboles (Larochelle 1993; Wiggins et al. 1979).

Il est donc proposé dans ce travail de vérifier les effets d'apports des BRF et du compost, couplés à des cultures en rotation pommes de terre – seigle ou sarrasin en engrais verts ou avec apport de paille, sur le rendement et l'incidence de la gale et de la rhizoctonie sur la pomme de terre.

Matériels et méthodes

Expériences au champ

Les expériences au champ ont été menées de1995 à 1999 au Centre de Recherches Les Buissons près de Baie-Comeau, au nord-est du Québec, sur un sol de la série Manicouagan. Le sol est un podzol humo-ferrique sable loameux (66% de sable, 27% de limon et 7% d'argile). La période de croissance (jours) et le nombre de degrés-jours (^{0}C) de la saison de croissance sont relativement faibles, soit respectivement de 1100 et 1400 environ (Dubé et Chevrette 1982). Le site était cultivé antérieurement depuis plus de 10 ans en pommes de terre en rotation de 3 ans. Les parcelles avaient été cultivées en seigle l'année précédant l'exécution de l'expérience.

L'expérience a été menée selon un bloc complètement aléatoire ayant six traitements et trois répétitions :

Trt 1 **monoculture de pommes de terre**

Trt 2 **culture en rotation de 2 ans pommes de terre – seigle de printemps (*Secale cereale* L.) en engrais vert**

Trt 3 **culture en rotation de 3 ans pommes de terre – sarrasin (*Fagopyrum esculentum* Moench.) en engrais vert - seigle de printemps en engrais vert**

Trt 4 **culture en rotation de 2 ans pommes de terre – seigle de printemps avec incorporation de la paille**

Trt 5 **même que Trt 2 avec en plus apport de 25 T ha^{-1} (matière sèche) de BRF, correspondant à 250 m^{3} ha^{-1}**

Trt 6 **même que Trt 2 avec en plus apport de 12 T ha^{-1} (matière sèche) de compost commercial.**

Chaque parcelle expérimentale mesurait 4 m par 4 m. Le seigle et le sarrasin ont été semés à l'aide d'un semoir conventionnel. Les engrais verts et la paille ont été enfouis avec une charrue respectivement en juillet et en septembre.

Les BRF, apportés au sol aux deux ans (1994, 1996, 1998) aux mois de septembre précédant la culture en pommes de terre, étaient composés de bois de feuillus (*Acer saccharum* Marsh et *Acer saccharinum* L). et étaient constitués de 98% de matière organique, 0,6 à 0,8% de N total, 0,1 % de P , 0,5 à 0,8% de K, 0,8 à 1,0 % de Ca et 0,2 à 0,4% de Mg (Tableau 1). La taille des fragments de BRF était généralement inférieure à 1 cm.

Le compost commercial était constitué d'un mélange de fumiers et de tourbe compostés durant 18 mois avec un minimum de 70% de matière organique, 1,6% de N, 0,5% de P, 0,9% de K, 2,7 à 3,4% de Ca et 0,4% de Mg (Tableau 1). Le compost a été apporté au champ aux deux ans juste avant la plantation de la pomme de terre.

Les BRF et le compost ont été incorporés à l'aide d'une herse à dents à une profondeur de 10 cm.

Une fertilisation complète 10 -16 -12 + 4% Mg a été réalisée selon les recommandations du CPVQ (1994) en bande sur chaque parcelle au taux de 1350 kg ha^{-1}. Les semences uniformes et entières de pommes de terre cv. Superior en 1995 et cv. Norland en 1997 et 1999, ont été plantées à un espacement de 25 cm et à 10 cm de profondeur, en quatre rangs espacés de 1 m. Chaque rang contenait 16 plants. Seuls les deux rangs du milieu ont été utilisés pour mesurer les rendements et l'incidence des maladies.

Propriétés physiques et chimiques du sol

L'analyse granulométrique a été réalisée sur des échantillons de sol prélevés à une profondeur de 0-20 et 20-40 cm par

la méthode de l'hydromètre. Les analyses de C total (Walkley et Black, 1934), N total (Bremmer, 1965), N-NH_4 et N-NO_3 (Standford et Smith, 1972) et cations échangeables (Tran et al. 1990) ont été réalisées sur des échantillons de sol prélevés à une profondeur de 0-20 cm.

Rendement et incidence de la maladie

Les pommes de terre des deux rangs du centre des parcelles ont été récoltées à la main. La production commerciale a été évaluée en relation avec la taille des tubercules de la façon suivante : 37-56 mm, 57-89 mm et >89 mm. La densité relative a été obtenu sur 20 tubercules sans défaut (50-65 mm) par la méthode du poids mesuré à l'air vs le poids dans l'eau. Les teneurs en N et le pourcentage de matière sèche ont été mesurés sur 10 sous-échantillons de tubercules. Les tubercules ont été lavés puis séchés à 65°C avant l'analyse. L'azote total des tubercules a été mesuré par la méthode de micro-Kjeldahl (McKeague, 1978). Les teneurs des éléments P, K, Ca et Mg ont été obtenues par la méthode de Rutledge et McCurg (1981).

L'incidence de la a été évaluée sur tous les tubercules récoltés en utilisant une cote qui tient compte à la fois du pourcentage de la surface couverte par les lésions liées à la gale et le type de lésions. Les lésions ont été caractérisées selon 4 classes : (1) très petites et superficielles, (2) taches distinctes formant une pellicule ressemblant au liège, (3) cratères diffus et (4) piqués de larges et profonds cratères. Le pourcentage de la surface couverte par les lésions est nul, faible <1%, 1-5%, 5-20%, 20-40% ou ≥40%.

Populations microbiennes

En 1995 et 1999, les populations microbiennes ont été évaluées sur des échantillons de sol (0-20 cm) prélevés aux 30 jours entre la mi-juin et la mi-août. Le nombre de bactéries, de champignons et d'actinomycètes a été déterminé par la méthode de dilution décrite par Rothrock et al. (1995). Un échantillon composite de 10 g de sol (matière sèche) a donc été mélangé avec 90 ml d'eau distillée stérilisée. Les suspensions de sol ont été diluées en séries et placées sur un milieu sélectif. Le nombre de bactéries a été estimé sur du « tryptic soy agar » (cfu $x10^7$/g), (Martin, 1975), celui des champignons sur de l'agar additionné de rose bengal de Martin (Martin, 1950) (cfu x 10^6/g) et celui des actinomycètes sur de l'agar liquide (15g/L) avec 50 mg/L de cycloheximide (cfu x 10^6/g). Dix répétitions par échantillon ont été réalisées dans des plats de Pétri. Les bactéries ont été comptées deux jours après leur ensemencement, les champignons après 5 jours et les actinomycètes après 8 jours

Tableau 1. Caractéristiques chimiques des BRF (bois raméaux fragmentés) et du compost (base sèche)

	C/N	N	P	K	Ca	Mg
BRF						
				%		
1995	62	0,8	0,1	0,8	1,0	0,2
1997	69	0,6	0,1	0,7	0,8	0,3
1999	64	0,7	0,1	0,5	1,0	0,2
Compost						
1995, 1997, 1999	22	1,6	0,5	0,9	2,7 - 3,4	0,4

Mésofaune

A la mi-juin de 1999, l'échantillonnage de la mésofaune a été réalisé par une carotteuse de 5 cm de diamètre et de 6 cm de long. Six échantillons ont été prélevés dans chacune des parcelles en monoculture et des parcelles avec BRF. L'extraction a été faite par flottaison selon les principes énoncés par Hale (1964). Chaque échantillon a été immergé (eau) dans un plateau émaillé blanc de 20 X 32 cm, puis soumis à quatre brassages successifs. Après chaque brassage, les collemboles flottant à la surface ont été recueillis dans un tamis. Un tri exhaustif a suivi pour environ 20 % des échantillons. L'efficacité d'extraction a été supérieure à 90 %. La mésofaune a été ensuite identifiée au binoculaire optique.

Analyses statistiques

L'analyse de variance a été réalisée pour chaque paramètre en utilisant la procédure GLM de SAS suivie par le test LSD pour la comparaison des moyennes des données issues de chaque traitement.

Résultats et discussion

Propriétés chimiques et physiques du sol

Les résultats indiquent que le sol possédait en moyenne avant l'application des traitements un pH (H_2O) de 5,4, des teneurs en matière organique de 3,8% et de faibles teneurs en azote total et minéral ainsi qu'en P, Ca et Mg (Tableau 2). Le sol présentait donc un niveau de fertilité relativement faible, à l'exception de K qui était en quantité moyenne. Les systèmes de culture en rotation, avec enfouissement d'engrais vert, de paille, de BRF ou de compost ont eu, comparés aux témoins (monoculture), un impact positif significatif ($p < 0,05$) sur certains paramètres du sol (Tableau 2). Le pH du sol a augmenté significativement avec ajout des BRF et du compost, pour atteindre 6,3 en 1999 avec les BRF. Avec des apports de BRF, on note également dans les sols des teneurs de plus en plus élevées de 1995 à 1999 en matière organique et en P, K, Ca et Mg échangeables.

Comparées aux autres traitements, les teneurs en matière organique, N total, P, Ca et Mg ont été significativement

Tableau 2. Caractéristiques chimiques des sols (base sèche)

		Tr 1 Monoculture	Tr 2 (engrais vert)	Tr 3 (engrais vert)	Tr 4 (paille)	Tr 5 (BRF + engrais vert)	Tr 6 (compost + engrais vert)	P**
pH	1995	5,4 c*	5,7 abc	5,5 bc	5,5 bc	6,0 a	5,8 ab	0,01
	1997	5,4 c	5,5 c	5,6 bc	5,6 bc	6,0 a	5,8 ab	0,004
	1999	5,6 c	5,6 c	5,8 bc	5,7 c	6,3 a	6,0 b	0,0001
% MO tot	1995	3,8 b	4,0 b	4,0 b	3,9 b	4,1 b	4,9 a	0,02
	1997	3,8 a	4,4 a	4,1 a	4,2 a	4,8 a	4,9 a	0,20
	1999	3,9 a	3,7 a	4,1 a	4,2 a	4,9 a	4,8 a	0,16
% N tot	1995	0,12 b	0,12 b	0,12 b	0,12 b	0,12 b	0,15 a	0,07
	1997	0,14 a	0,17 a	0,14 a	0,14 a	0,17 a	0,16 a	0,14
	1999	0,09 b	0,08 b	0,11 ab	0,15 a	0,12 ab	0,13 ab	0,04
$N\text{-}NH_4$ mg kg^{-1}	1995	1,5 a	1,7 a	1,6 a	1,6 a	1,7 a	1,8 a	0,16
	1997	1,5 a	1,6 a	1,6 a	1,6 a	1,7 a	1,7 a	0,32
	1999	1,5 a	1,5 a	1,9 a	1,9 a	1,9 a	1,7 a	0,24
$N\text{-}NO_3$ mg kg^{-1}	1995	45 a	25 ab	34 a	34 a	4 b	52 a	0,02
	1997	42 a	20 b	30 c	30 b	9 c	60 d	0,01
	1999	10,6 ab	11,3 ab	17 a	10,7 ab	3,6 b	6,9 ab	0,16
P mg kg^{-1}	1995	22 b	16 b	18 b	18 b	20 b	36 a	0,14
	1997	33 a	19 a	25 a	25 a	27 a	27 a	0,33
	1999	52 a	34 a	31 a	43 a	38 a	52 a	0,18
K mg kg^{-1}	1995	148 b	134 b	124 b	124 b	157 b	246 a	0,01
	1997	176 a	142 a	224 a	260 a	274 a	227 a	0,16
	1999	133 b	168 b	237 a	157 b	293 a	240 a	0,0002
Ca mg kg^{-1}	1995	568 c	569 c	620 c	619 c	764 b	1107 a	0,002
	1997	492 c	541 bc	680 ab	681 bc	808 a	833 a	0,003
	1999	459 b	541 b	559 bc	568 b	857 a	785 a	0,0008
Mg mg kg^{-1}	1995	46 b	28 b	30 b	30 b	41 b	80 a	0,003
	1997	65 a	45 a	61 a	61 a	66 a	56 a	0,67
	1999	95 ab	95 ab	37 b	104 ab	198 a	113 ab	0,10

*a-d : Les valeurs portant une même lettre sont équivalentes au niveau significatif de 5% selon le test de LSD.
**P : $P(F_{théorique} >= F_{observé} / H_0 \text{ vraie})$ = niveau significatif observé

supérieures avec ajout de compost à la première année (1995). Ce dernier résultat peut être expliqué par les teneurs relativement importantes de matières humiques stables, de phosphore, calcium et magnésium facilement assimilables dans le compost. D'une manière générale, soulignons cependant que les teneurs obtenues avec ajout de compost n'ont pas été différentes de façon significative avec celles obtenues avec la plupart des autres amendements, notamment avec les BRF, au cours des années 1997 et 1999. Ceci peut-être expliqué en raison de l'augmentation progressive des teneurs en matière organique et en éléments chimiques du sol observée de 1995 à 1999 au fur et à mesure de la décomposition des autres amendements.

Les teneurs en $N\text{-}NO_3$ du sol ont diminué de façon importante avec les BRF par rapport aux autres traitements. Les caractéristiques chimiques particulières des BRF et leur richesse en matériel ligno-cellulolitique en font un amendement qui stimule de façon importante la flore microbienne. Celle-ci joue alors un rôle important sur l'immobilisation de l'azote minéral (Kononova 1966, Martin et al. 1980). L'azote ainsi immobilisé serait par ailleurs avec le temps minéralisé sous l'action de processus biochimiques et biologiques, ce qui rendrait cet élément à nouveau disponible pour la plante. L'immobilisation de l'azote durerait environ un an suite à une incorporation au sol des BRF (Lalande et al. 1998), alors que dans le cas de la paille de blé elle ne durerait qu'environ 2 à 4 semaines (Dommergues et Mangenot 1970). La décomposition des BRF s'échelonnerait donc sur une durée plus longue en raison de leur teneur plus élevée en matière ligneuse plus difficilement dégradable (Lalande et al. 1998; N'Dayegamiye et Angers, 1993). La taille des fragments de bois peut également affecter la vitesse de décomposition. Dans le présent travail, les fragments de BRF étaient de taille relativement petite (< 1 cm), ce qui a permis une décomposition relativement rapide. En effet, les copeaux de bois les plus grossiers avaient disparu deux années après leur application.

Rendement et qualité des tubercules

Les rendements en pommes de terre sont présentés au tableau 3. D'une manière générale pour l'ensemble des traitements, les rendements ont été inférieurs à ceux obtenus par d'autres auteurs qui avaient réalisé leurs expériences au Québec (Beauchemin et al. 1990, Tran et Giroux 1991) sur la même variété de pommes de terre. Ces derniers avaient apporté une fertilisation comparable à celle réalisée dans notre expérience. Cependant, le nombre de degrés-jours caractéristiques de la région de Baie-Comeau (1100 environ) sont de beaucoup inférieurs à ceux des régions dans lesquelles ces auteurs avaient réalisé leur expérimentation (1600 à 2000 environ). Or la température est un des facteurs les plus restreignant pour la croissance des plantes.

Nos résultats indiquent que les plus faibles rendements ont toujours été obtenus avec la monoculture de la pomme de terre, alors que les rendements totaux ainsi que les rendements en pommes de terre vendables ont été supérieurs avec les systèmes de rotation combinés avec des amendements organiques. Le rendement le plus élevé, soit de 11 à 29% supérieur selon les années à ceux obtenus par la monoculture, a été observé avec l'ajout de compost. Ces résultats peuvent être en partie expliqués par le fait que le compost a contribué à apporter les plus grandes quantités de matière organique stabilisée, d'azote, ainsi que de cations

échangeables P, K, Ca et Mg (Tableau 5).

Les rendements ont été ensuite les plus élevés avec l'application de BRF, soit de 8 à 14% plus élevés que ceux obtenus par la monoculture. L'immobilisation de l'azote résultant de l'apport en BRF ne semble avoir ici que peu d'impact sur les rendements. Soulignons que plusieurs auteurs avaient observé une diminution importante de rendement suite à l'application de BRF et avaient associé cette diminution aux effets de l'immobilisation de l'azote dans le sol (Beauchemin et al., 1990 et 1992b; N'Dayegamiye et Dubé, 1986). Ils ont indiqué par ailleurs que cet effet d'immobilisation devait être compensé par un apport d'azote minéral au sol. Il importe cependant de mentionner que l'apport des BRF avait alors été appliqué au printemps (N'Dayegamiye, communication personnelle). Dans le présent travail, l'application des BRF a été effectuée en septembre précédant la plantation de pommes de terre. Nos résultats indiquent que les BRF ont permis d'accroître la présence des champignons dans le sol tel que l'ont observé Tremblay et Beauchamp (1998) ainsi que Lalande et al. (1998), mais nos données ne se sont pas avérées significatives (résultats non présentés). Ceci résulte peut-être du fait que l'échantillonnage des sols a été réalisé neuf (9) mois après l'application des BRF de sorte que l'activité microbienne a été optimale avant la période d'échantillonnage (mi-juin à mi-août). Il est donc permis de penser que, lorsque le pic de croissance microbienne occasionné par un apport de BRF a lieu avant la plantation des pommes de terre, les effets de l'immobilisation de l'azote par les microorganismes sur la production en tubercules sont réduits.

Il importe de mentionner que la fertilisation complète réalisée dans notre expérience a été appliquée en bande et non pas à la volée comme l'ont fait N'Dayegamiye et Dubé (1986) ainsi que Beauchemin et al. (1990, 1992a et b). Or, une fertilisation minérale en bande près des plants limite les effets d'immobilisation de l'azote et permet une plus grande efficacité de l'utilisation de l'azote par la plante par rapport à une fertilisation à la volée (Tran et Giroux 1991). Ce phénomène a pu contribuer à atténuer les effets d'immobilisation de l'azote suite à une application de BRF.

Tableau 3. Caractéristiques chimiques (base sèche) et rendement en tubercules (base humide) et incidence de la maladie

		Monoculture	Tr 2 (engrais vert)	Tr 3 (engrais vert)	Tr 4 (paille)	Tr 5 (BRF + engrais vert)	Tr 6 (compost + engrais vert)	P*
Densité relative	1995	1,086 b	1,087 b		1,086 b	1,094 a	1,085 b	0,006
	1997	1,065 b	1,064 b	1,064 b	1,064 b	1,068 a	1,063 b	0,002
	1999	1,076 ab	1,073 b		1,074 ab	1,078 a	1,074 ab	0,230
Gale	1995	1,31 a	1,13 a		1,12 a	0,93 a	1,08 a	0,620
	1997	3,36 a	1,84 bc	1,50 c	2,11 bc	2,01 bc	2,41 b	0,001
	1999	4,11 a	2,07 bc		2,25 bc	1,97 c	2,54 b	0,000
Rendement (T ha⁻¹)	1995	17,5 b (86)	17,2 b (88)		18,7 ab (87)	19,3 ab (86)	20,1 a (86)	0,070
(% pommes de terre vendables)	1997	17,8 c (86)	19,1 bc (89)	19,9 bc (88)	19,6 bc (90)	20,3 b (90)	23,0 a (90)	0,009
	1999	14,7 a (90)	15,2 a (87)		16,1 a (91)	15,9 a (92)	16,2 a (86)	0,550
N Tot (%)	1995	1,6 a	1,6 a		1,6 a	1,3 b	1,7 a	0,007
	1997	1,6 a	1,6 a	1,6 a	1,6 a	1,3 b	1,7 a	0,006
	1999	1,5 ab	1,6 a		1,5 ab	1,2 c	1,6 a	0,001
P (%)	1995	0,19 a	0,17 a		0,17 a	0,16 a	0,17 a	0,654
	1997	0,19 a	0,17 a	0,17 a	0,17 a	0,16 a	0,17 a	0,780
	1999	0,19 a	0,17 a		0,18 a	0,18 a	0,19 a	0,880
K (%)	1995	2,07 a	1,77 b		1,87 b	1,81 b	2,05 a	0,034
	1997	2,15 b	2,24 a	2,33 a	2,28 a	2,33 a	2,36 a	0,024
	1999	2,17 b	2,39 a		2,31 a	2,39 a	2,39 a	0,029
Ca (%)	1995	0,03 a	0,02 a		0,02 a	0,01 a	0,08 a	0,706
	1997	0,03 a	0,02 a	0,02 a	0,02 a	0,02 a	0,05 a	0,702
	1999	0,02 a	0,02 a		0,02 a	0,02 a	0,02 a	0,615
Mg (%)	1995	0,13 a	0,11 a		0,12 a	0,11 a	0,15 a	0,678
	1997	0,13 a	0,12 a	0,12a	0,13 a	0,12 a	0,14 a	0,588
	1999	0,14 a	0,14 a		0,15 a	0,14 a	0,14 a	0,460

*a-d : Les valeurs portant une même lettre sont équivalentes au niveau significatif de 5% selon le test de LSD.
**P : $P(F_{théorique} >= F_{observé} / H_0 \text{ vraie})$ = niveau significatif observé

Enfin, soulignons que la densité relative est une des mesures les plus reconnues pour évaluer la qualité interne de la pomme de terre. Ce paramètre indique la farinosité à la cuisson (Gould, 1990) et procure une mesure de la teneur en matière sèche laquelle affecte le rendement final du produit transformé, le temps et la température de cuisson, de même que la quantité d'huile absorbée au cours de la cuisson (Lulai and Orr, 1979). Les BRF ont contribué à augmenter de façon appréciable au cours de toutes les années d'expérimentation, la densité relative par rapport aux autres traitements (Tableau 3). La faible teneur en $N\text{-}NO_3$ observée dans le sol avec application de BRF est également observée chez les tubercules. Or, on sait qu'un excès d'azote sous toutes ses formes diminue la densité relative des tubercules, ainsi que ses qualités pour la cuisson et la transformation (Sieczka et Thornton, 1993 ; Smith, 1977). On sait également que, dans un sol relativement riche en azote, la faible teneur en azote dans les tubercules est souvent reliée à l'immobilisation de cet élément dans le sol.

Prélèvement et apport en nutriments

Les tubercules ont prélevé moins d'azote avec les BRF qu'avec les autres traitements. Comparé à la monoculture, le traitement avec BRF a provoqué 10 et 13 % moins d'azote dans les tubercules en 1995 et 1999 respectivement. Ces

Tableau 4. **Prélèvement et apport en nutriments**

		Prélèvement dans les tubercules			Apport en nutriments	
		Tr5 BRF aux 2 ans	Tr6 Compost aux 2 ans	BRF	Compost	Fertilisant
		Kg ha-1 (base sèche)				
N	1995	50	68	199	192	135
	1997	53	78	150	192	135
	1999	38	52	175	192	135
P	1995	6,2	6,8	24	60	94
	1997	6,5	7,8	20	60	94
	1999	5,7	6,2	31	60	94
K	1995	70	82	200	108	134
	1997	95	109	175	108	134
	1999	76	78	125	108	134
Ca	1995	0,4	3,2	250	324	
	1997	0,8	2,3	200	360	
	1999	0,6	0,7	249	408	
Mg	1995	4,3	6,0	50	48	54
	1997	4,9	6,4	75	48	54
	1999	4,5	4,6	50	48	54

Tableau 5. **Identification des collemboles**

Collemboles	Traitements	
	Trt 5 BRF aux 2 ans	Trt1 Monoculture
	Nombre m-2	
Hypogastruridae		
***Hypogastrura (Hypogastrura) gr manubrialis* sp**	6 470	725
***Hypogastrura (Ceratophysella) gr denticulata* sp**	8 954	207
***Willemia intermedia* Mills, 1934**	259	0
Onychiuridae		
Tullbergia (Tullbergia) silvicola Folsom, 1932	259	0
Tullbergia (Tullbergia) macrochaeta (Rusek, 1976)	3 261	1 346
Isotomidae		
***Proisotoma (Proisotoma) minuta* (Tullberg, 1871)**	5 435	52
***Folsomia nivalis* (Packard, 1871)**	6 936	1 035
***Isotoma (Desoria) notabilis* Schäffer, 1896**	880	52
***Isotoma (Desoria)* sp (juv.)**		
Total	32 453	3 416

résultats confirment que les BRF occasionnent une réduction du prélèvement de l'azote par la plante, et cela malgré une contribution relativement importante en cet élément dans le sol (Tableau 4).

D'une manière générale, les autres traitements de culture en rotation ont permis d'accroître par rapport à la monoculture le prélèvement d'azote par la plante. Le compost surtout a contribué à accroître considérablement le prélèvement par la plante non seulement de l'azote mais également des autres nutriments. Avec les BRF, la performance d'utilisation des éléments minéraux P, K, Ca et Mg par les tubercules dans les parcelles s'est avérée être inférieure à celle des autres traitements en 1995 et 1997. En 1999, elle a été semblable aux autres traitements. C'est donc dire que l'efficacité des BRF par rapport aux autres traitements, et notamment la monoculture, s'est accrue de façon importante au cours du temps. Comparé aux parcelles en monoculture, le phosphore des parcelles avec BRF est passé de 7% moins élevé en 1995 à 3% plus élevé en 1999, le potassium de 3% moins élevé en 1995 à 19% plus élevé en 1999, le calcium de 63% moins élevé en 1995 à 8% plus élevé en 1999 et enfin le magnésium de 7% moins élevé en 1995 à 8 % plus élevé en 1999. Ces résultats indiquent que P, K, Ca et Mg apportés par les BRF ont été libérés et rendus disponibles pour la plante au fur et à mesure de l'importance de la décomposition des matières ligno-cellulolitiques. Néanmoins, soulignons que l'on n'a pas observé de relation entre l'importance des prélèvements en nutriments par le tubercule et les rendements dans les parcelles avec BRF. Ces résultats montrent donc que la pomme de terre nécessite moins de cations avec les BRF qu'avec les autres traitements pour atteindre des rendements élevés.

Les BRF et le compost apportent au sol d'importantes quantités de N, P, K, Ca et Mg, supérieures même, à l'exception des apports en P, à la fertilisation minérale (Tableau 4). Il importe cependant de mentionner que peu de l'azote apporté par ces amendements, en particulier par les BRF, est sous forme disponible pour la plante (N'Dayegamiye and Dubé, 1986). Une partie de l'azote sera cependant rendue disponible au cours de la saison de croissance. Ce pool d'azote mis en disponibilité grâce à l'activité microbienne, provient du sol ou des amendements organiques apportés au sol. Il provient également des microorganismes morts dont la durée de vie est relativement courte. Il semble que 10 à 15 % seulement de l'azote immobilisé dans le sol serait ainsi libéré au cours de la saison de croissance (communication personnelle de A. N'Dayegamiye). Une application azotée provenant d'autres sources (fertilisants minéraux, fumier) est donc essentielle afin d'obtenir des rendements optimaux, et cela même si la quantité d'azote total est largement supérieure au besoin de la plante.

Le phosphore est également un élément important pour la croissance de la plante. Les quantités de P prélevées par les tubercules sont inférieures à celles apportées par les BRF et le compost (Tableau 4). Néanmoins, tout comme l'azote, une partie seulement du phosphore du sol se retrouve sous forme assimilable par la plante (Tran et Giroux, 1987). Il est certain que la forte activité biologique résultant de l'application d'amendements organiques tels les BRF et le compost aura pour effet de libérer davantage de phosphore (après immobilisation) que si aucun amendement organique avait été apporté (Dommergues et Mangenot, 1970).

Incidence de la maladie

La gale

Il est reconnu que l'addition au sol de matière organique non compostée occasionne généralement une augmentation de l'incidence de la maladie de la pomme de terre causée par la gale. Soulignons cependant que Tremblay et Beauchamp (1998) n'ont pas trouvé d'effet sur l'évolution ou la régression de la maladie liée à la gale. Nos résultats montrent au contraire une diminution de l'incidence de la gale dans les parcelles soumises à des rotations de culture avec amendements organiques (Tableau 3). Cette diminution est la plus élevée avec les BRF soit, comparativement à la monoculture, de 30% en 1995 à près de 50% en 1999. Les résultats montrent que les lésions sont moins importantes avec la pomme de terre cv. Superior utilisée en 1995 qu'avec la pomme de terre cv. Norland utilisée en 1997 et 1999. Le cultivar Supérior est reconnu comme étant moyennement résistant à la gale. De plus, il est permis de penser que la capacité plus importante de rétention en eau du sol apportée par les amendements, et notamment avec les BRF (Labruyère, 1971; Lapwood et al., 1973), a contribué à maintenir un bon taux d'humidité durant la tubérisation et à réduire ainsi l'incidence de la gale.

Comme il a été souligné précédemment, nous avons cherché à établir une relation entre l'incidence de la maladie de la gale et la présence en plus ou moins grande abondance des micro-organismes (bactéries, champignons, actinomycètes) dans la rhizosphère. Les résultats ne se sont pas avérés significatifs probablement parce que le maximum de l'activité microbienne a eu lieu plus tôt que la période d'échantillonnage. Par ailleurs, plusieurs auteurs ont démontré que l'addition de matières organiques riches en lignine contribuait à augmenter les populations de la mésofaune tels que les collemboles (Larochelle 1993 ; Wiggins et al. 1979). Or, il a été démontré que l'infestation du coton par *R. solani* diminuait de façon importante en présence de populations de collemboles, notamment de *Proisotoma minuta*, prédateur de *R. solani* (Curl et al., 1983 ; Lartey et al.1989 et 1994). Il est possible qu'un apport de BRF a contribué également à diminuer l'incidence de la gale sur la pomme de terre, puisque cet amendement a occasionné une augmentation de la population des collemboles du sol de dix (10) fois plus importante par rapport à la monoculture, et en ce qui regarde l'espèce *P. minuta*, de cent (100) fois plus importante (Tableau 5).

Conclusions

Les résultats obtenus dans ce travail indiquent qu'une rotation de culture de deux ans (seigle en engrais vert – pommes de terre) avec des apports de BRF ou de compost permet d'augmenter les rendements en pommes de terre. L'application des BRF réalisée tôt à l'automne ainsi que l'apport en bande des fertilisants minéraux au printemps, limitent les diminutions de rendements en tubercules liées à l'immobilisation de l'azote. Néanmoins, soulignons que les tubercules des parcelles avec BRF contenaient les plus faibles quantités d'azote. Par ailleurs, c'est avec des apports de BRF que l'on a obtenu une meilleure qualité de la pomme de terre, grâce à une augmentation de la densité relative de celle-ci. C'est également avec des apports de BRF que l'on a obtenu les pommes de terre les plus saines, c'est-à-dire les moins affectées par la gale. On peut donc dire que même si les tubercules des parcelles avec BRF ont prélevé des quantités parfois inférieures en nutriments, les rendements ont été peu affectés en raison d'une amélioration importante de la qualité du milieu de culture, et notamment la diversité des organismes du sol.

L'apport de compost ou de BRF couplé à une culture en rotation d'engrais vert serait donc une pratique agricole bénéfique pour la culture de la pomme de terre et pourrait permettre des rotations courtes, avec réduction des apports de fertilisants minéraux et de chaux. L'effet bénéfique des BRF sur la capacité de rétention en eau du sol, sur les propriétés physiques et chimiques du sol, sur la qualité des tubercules ainsi que sur l'incidence de la gale en fait un amendement intéressant. D'autres expériences de plus longues durées seraient cependant nécessaires afin de déterminer la fréquence des apports des BRF pour un rendement optimum.

Remerciements

Nous tenons à remercier Pierre Audesse et Nicole Fournier pour leur assistance technique de qualité, ainsi que Fernand Therrien, entomologiste, pour son excellent travail d'identification de la mésofaune.

Références bibliographiques

Beauchemin S., A. N'Dayegamiye et M. R. Laverdière, 1990. Effets d'apport d'amendements ligneux frais et humifiés sur la production de pomme de terre et sur la disponibilité de l'azote en sol sableux. Can. J. Soil Sci. 70 : 555-564.

Beauchemin, A., A. N'dayegamiye et M. R. Laverdière, 1992a. Effets des matériaux frais et compostés utilisés comme amendements organiques des sols. Can. J. Soil Sci. 72: 177-181.

Beauchemin, A., A. N'dayegamiye et M. R. Laverdière, 1992b. Effets d'amendements ligneux sur la disponibilité d'azote dans un sol sableux cultivé en pomme de terre. Can. J. Soil Sci. 72: 89-95.

Bremmer, J.M. 1965. Total nitrogen, inorganic forms of nitrogen, organic forms of nitrogen. *In* Black, C.A. *et al.*, eds. Methods of soil analysis. Agronomy Monograph no. 9, Part 2. Am. Society of Agronomy, Madison, WI.

Campbell C.A., B.G. McConkey, F. Zentner and D. Curtin, 1996. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and N in clay soil in southwestern Saskatchewan. Can. J. Soil Sci. 76 : 395-401.

CPVQ (Conseil de Production Végétale du Québec) 1994. Grilles de référence en fertilisation, Québec. Agdex 540. 91 p.

Curl E.A. and R. Rodriguez-Kabana, 1974. Soil fertility and root-infecting fungi. P. 47-50 *in* Papavizas, G.C ed. The relation of soil microorganisms to soilborne plant pathogens. South Coop. Ser. Bull. 183. Virginia Polytech. Inst. and State Univ., Blacksburg, V.A.

Curl, E.A., R.T. Gudauskas, J.D. Harper and C. M. Peterson, 1983. Effects of soil insects on populations and germination of fungal propagules. P.20-23 *in* Parker, C.A. et al., eds. Ecology and management of soilborne plant pathogens. Proc. of the 4th Int'l. Congress of Plant Pathology. APS Press, St.Paul, Minn.

Dommergues, Y. et F. Mangenot, 1970. Écologie microbienne du sol. Masson et Cie, Eds. Paris., France. 796 p.

Dubé, P.-A., J.-E. Chevrette et P. Lamb, 1982. Agrométéorologie: Atlas agroclimatique du Québec méridional, données dérivées de la température. Québec, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Pêcheries, Agdex 70.

Edwards, L., J.R. Burney, G. Richter and A. H. MacRae, 2000. Evaluation of compost and straw mulching on soil-loss characteristics in erosion plots of potatoes in Prince Edward Island, Canada. Agric. Ecosyst. Environ. 81 (3) : 217-222.

Garrett S.D. 1965. Toward biological control of soil-borne plant pathogens. *In* Ecology of soil-borne plant pathogens, prelude to biological control. Baker, K.F. et al., eds., Univ. California Press, Los Angeles. pp. 4-17.

Gasser, M.O., A. N'Dayegamiye and M. R. Laverdière, 1995. Short-term effects of crop rotations and wood-residue amendments on potato yields and soil properties of a sandy loam soil. Can. J. Soil Sci. 75 : 385-390.

Gent, M.P.N., J.A. LaMondia, F.J. Ferrandino, W.H. Elmer and K.A. Stoner, 1999. The influence of compost amendment or straw mulch on the reduction of gas exchange in potato by Verticillium dahliae and Pratylenchus penetrans. Plant Disease 83: 371-376.

Gould, W.A. 1990. Specific gravity of potatoes. Chipping potato seminar. Michigan Potato Industry Commission.

Goyer, C., B. Otrysko and C. Beaulieu, 1996. Taxonomic studies on streptomycetes causing potato common scab: a review. Can. J. Plant Pathol. 18 : 107-113.

Hadar, Y., R. Mandelbaum and Gorodecki, B. 1992. Biological control of soilborne plant pathogens by suppressive compost. P. 79-83. *In* Biological control of plant diseases. Tjamos, E.S. et al. Eds. Plenum Press, New York.

Hale, W.G. 1964. A flotation method for extracting Collembola from agricultural soils. Journal of Animal Ecology, vol. **33** : 363-9

Heal, O.W. and J. Dighton, 1985. Resource quality and trophic structure in soil system. p. 339-354. *In* A.H. Fitter ed., Ecological interactions in soil. Blackwell Scientific Publications.

Hooker, W.J. ed. 1981. Compendium of potato diseases. APS Press, St. Paul, Minn. Pp. 33-34 et 52-54.

Janzen, H.H., C.A. Cambell, S.A. Brett, Lafond G.P. and L. Townley-Smith, 1992. Light fraction organic matter in soils from long term crop rotations. Soil Sci. Soc. Am. J. 56 : 1799-1806.

Kononova, M.M. 1966. Soil organic matter. Pergamon Press, Elmsford, NY. 544 pp.

Labruyère, R.E.1971. Common scab and its control in seed-potato crops. Versl. Landbouwk. Onderz. Ned. 767. 71pp.

Lalande, R., V. Furlan, D.A. Angers and G. Lemieux 1998. Soil improvement following addition of chipped wood from twigs. Amer. Journ. Alt Agri., 13 :132-137.

Lapwood, D.H., L.W. Wellings and J. H. Hawkins, 1973. Irrigation as a practical means to control potato common scab (*Streptomyces scabies*) : final experiment and conclusions. Plant Pathol. 22 :35-41.

Larochelle, L. 1993. L'impact de la qualité de bois raméal fragmenté sur la dynamique de la mésofaune du sol. Thèse de maîtrise, Université Laval, Québec. 65 p.

Larochelle, L., F. Pagé, C.J. Beauchamp et G. Lemieux, 1993. Rôle de la mésofaune dans la dynamique de transformation de la matière ligneuse appliquée au sol. Agrosol 6 : 36-43.

Lartey, R.T., E.A. Curl, C.M. Peterson et J. D. Harper, 1989. Mycophagous grazing and food preference of *Proisotoma minuta* (Collembola : Isotomidae) and *Onychiurus encarpatus* (Collembola : Onychiuridae.) Environmental Entomology 18 : 334-337.

Lartey, R.T., E.A. Curl and C.M. Peterson, 1994. Interactions of mycophagous collembola and biological control fungi in the suppression of *Rhizoctonia solani*. Soil Biol. Biochem. 26 : 81-88.

Lazarovits, G., K.L. Conn and J. Potter, 1999. Reduction of potato scab, verticillium wilt, and nematodes by soymeal and meat and bone meal in two Ontario fields. Can. J. Plant Pathol. 21 : 345-353.

Loria, R., R.A. Bukhalid, B.A. Fry and R. R. King, 1997. Plant pathogenicity in the genus *Streptomyces*. Plant Dis. 81: 836-846.

Lulai, E.D. and P.H. Orr, 1979. Influence of potato specific gravity on yield and oil content of chips. Am. Potato J. 56:379-390.

Martin, J.K. 1950. Use of acid, rose bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. Soil Sci. 69 : 215-232.

Martin, J.K. 1975. Comparison of agar media for counts of viable soil bacteria. Soil Biol. Biochem. 7: 401-402.

Martin, J.P., K. Haider, and G. Kassim, 1980. Biodegradation and stabilization after 2 years of specific crop, lignin, and polysaccharide carbons in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 1250-1255.

McKeague, J.A. ed. 1978. Manual on soil sampling and methods of analysis. 2nd ed. Canadian Society of Soil Science. Ottawa, Ontario. 223pp.

N'Dayegamiye, A. and D.A. Angers, 1993. Organic matter characteristics and water stable aggregation of a sandy loam soil after 9 years of wood-residue applications. Can. J. Soil Sci. 73 : 115-122.

N'Dayegamiye A. et Dubé A., 1986. L'effet de l'incorporation de matières ligneuses sur l'évolution des propriétés chimiques du sol et sur la croissance des plantes. Can. J. Soil Sci. 66 : 623-631.

Neher D., 1999. Soil community composition and ecosystem processes. Agroforestry systems 45 : 159-185.

Perry D.A., M.P. Amatranthus, J.G. Borchers, S.L. Borchewrs and R.E. Brainerd, 1989. Bootstrapping in ecosystems. BioScience 39 : 230-237.

Rothrock, C.S., T.L. Kirkpatrick, R.E. Frans, and H.D. Scott, 1995. The influence of winter legume cover crops on soilborne plant pathogens and cotton seedling diseases. Plant Disease 79: 167-171.

Rutledge, B.E. and J.E. McCurg 1981. Technical note aid No. 1. Plant tissue analysis by inductivity coupled argon plasma spectrometry. Jarrell-Ash Plasma Newsletter, 3: 4-5.

Sieczka, J.B. and R.E. Thornton, eds. 1993. Commercial Potato Production in North America. Potato Association of America Handbook. Revision of USDA-ARS Handbook 267. 46 pp.

Smith O., 1977. Soils and organic matter in potato production. *In* Potatoes : production, Storing, Processing. The Avi publishing Company, Inc., Connecticut. USA. p. 145-158.

Standford, G. and S.J. Smith, 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 465-472.

Swift, M.J., O.W. Heal and J.M. Anderson, 1979. The influence of resource quality on decomposition process. *In* Anderson, D.J. et al. eds. Studies in Ecology vol. 5, Decomposition in Terrestrial Ecosystems, University of California Press, Berkely, p. 118-167.

Tremblay, J., 1995. Caractérisation physico-chimique des bois raméaux fragmentés et leur effet sur la croissance des plantes. Mémoire de maîtrise, FSAA. Université Laval, Québec, 173 p.

Tremblay, J. et C.J. Beauchamp, 1998. Fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint à la suite de l'incorporation au sol de bois raméaux fragmentés : modifications de certaines propriétés biologiques et chimiques d' un sol cultivé en pomme de terre. Can. J. Soil Sci. 78 : 275-282.

Tran, T.S. et M. Giroux, 1987. Disponibilité du phosphore dans les sols neutres et calcaires du Québec en relation avec leurs caractéristiques chimiques et physiques. Can. J. Soil Sci. 67: 1-16.

Tran, T.S. and M. Giroux, 1991. Effects of N rates and harvest dates on the efficiency of ^{15}N-labelled fertilizer on early harvested potatoes (*Solanum tuberosum*). Can. J. Soil Sci. 71: 519-532.

Tran, T.S., M. Giroux, J. Guilbault and P. Audesse, 1990. Evaluation of Mehlich-III extractant to estimate the available P in Quebec soils. Commun. Soil Sci. Plant. Anal. 21: 1-28.

Walkley, A. and I.A. Black, 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38.

Wiggins, E.A., E.A. Curl and J.D. Harper, 1979. Effects of soil fertility and cotton rhizosphère on populations of Collembola. Pedobiologia 19 : 75-82.

Zhang, J. and F.A. Drummond, 1998. Effect of crop habitat and potato management practices on the population abundance of adult Harpalus rufipes (Coleoptera: Carabidae) in Maine. J. agric. entomol. 15 (1) : 63-74.